

# Multi Camera Visual Feedback System



FL06 - 25 - 1

11/27/2006

尹 磊々



# はじめに

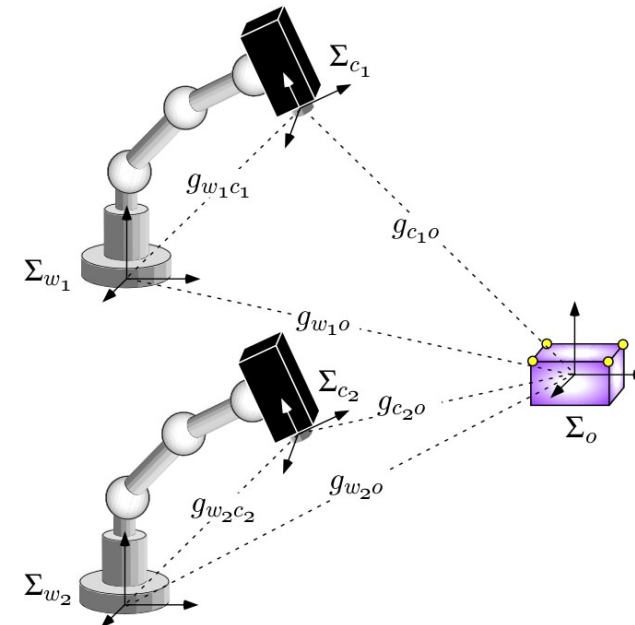
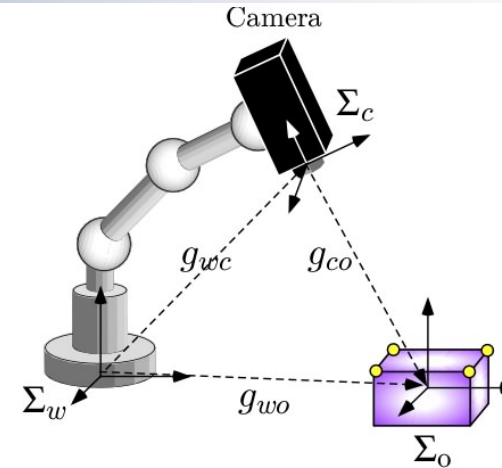
Eye-in-hand  
カメラ構造

Synchronization

Eye-in-hand  
カメラ構造のシンクロナイズ

今回の提案: Multi camera  
visual feedback system

マニピュレータダイナミクスが  
入っていないカメラのみのシステム





## 前半部分ー視覚フィードバックの基礎

1. 位置姿勢速度の表現
2. カメラモデル
3. 推定偏差システム
4. 制御偏差システム
5. 受動性

## 後半部分ー複数カメラによるSynchronizationの問題

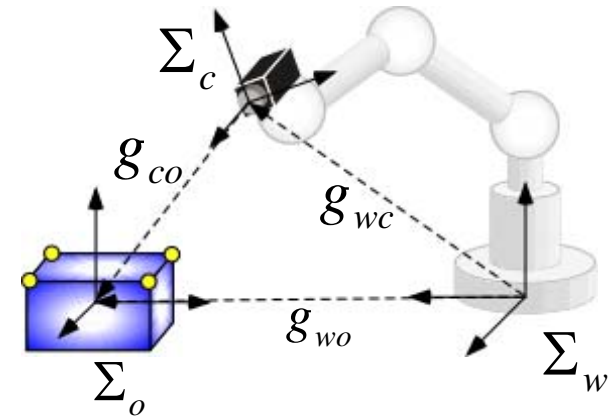
1. 問題設定
2. 目標相対位置姿勢についての考
3. 推定偏差システム
4. 制御偏差システム
5. 受動性
6. 終わりに



# 視覚フィードバックシステムの位置姿勢、速度表現

## 空間中物体の位置姿勢の表

$$\left. \begin{array}{l} p \in \mathcal{R}^3 \quad \text{位置} \\ R \in SO(3) \quad \text{姿勢} \end{array} \right\} \xrightarrow{\text{同次表現}} g = \begin{bmatrix} R & p \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^{4 \times 4}$$



カメラの位置姿勢

$$g_{wc} = (p_{wc}, R_{wc})$$

観測対象の位置姿勢

$$g_{wo} = (p_{wo}, R_{wo})$$

相対位置姿勢(カメラと対象物)

$$g_{co} = (p_{co}, R_{co}) = g_{wc}^{-1} g_{wo} \quad (\because g_{wo} = g_{wc} g_{co})$$

## 空間中物体の速度表

ボディ速度

並進速度

ボディ速度の同次表現

$$V_{ab}^b = \begin{bmatrix} v_{ab}^b \\ \omega_{ab}^b \end{bmatrix} \in \mathcal{R}^6 \xrightarrow{\text{同次表現}} \hat{V}_{co}^b = \begin{bmatrix} \hat{\omega}_{co}^b & v_{co}^b \\ 0 & 0 \end{bmatrix} := g_{co}^{-1} \dot{g}_{co}$$

角速度

Wedge

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}^\wedge := \begin{bmatrix} 0 & -a_3 & a_2 \\ a_3 & 0 & -a_1 \\ -a_2 & a_1 & 0 \end{bmatrix}$$

## 相対運動の

$$V_{co}^b = -Ad_{(g_{co}^{-1})} V_{wc}^b + V_{wo}^b \dots \dots \textcircled{1}$$

↓ 対象物速度
↓ カメラ速度
↓ 相対速度

同次表現  $g_{ab}$  の随伴写像表現

$$Ad_{(g_{ab})} = \begin{bmatrix} R_{ab} & \hat{p}_{ab} R_{ab} \\ 0 & R_{ab} \end{bmatrix}$$



# カメラモデル

## 制御目的

カメラから見た目標物の位置姿勢を与えられた  
目標相対位置姿勢に偏差なく持っていく  
つまり  $g_{co} \rightarrow g_{cd}$

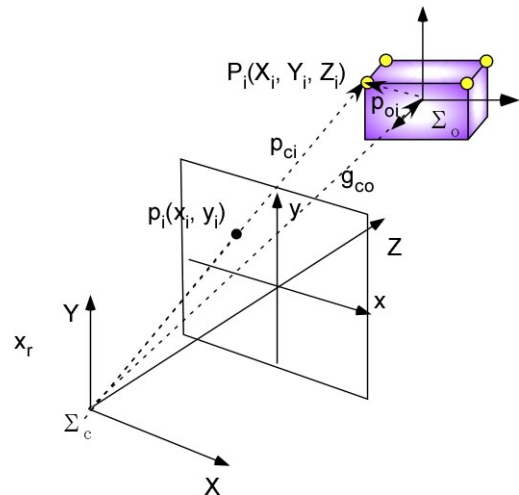


図:カメラモデル

カメラモデルの座標関係から

$$p_{ci} = R_{co} p_{oi} + p_{co} := \begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i \end{bmatrix}^T \dots\dots ②$$

透視投影変換

$$f_i := \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \frac{\lambda}{Z_i} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} \dots ③ \quad f = \begin{bmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_m \end{bmatrix}$$

三次元の特徴点  $\longrightarrow$  二次元画像面上の座標

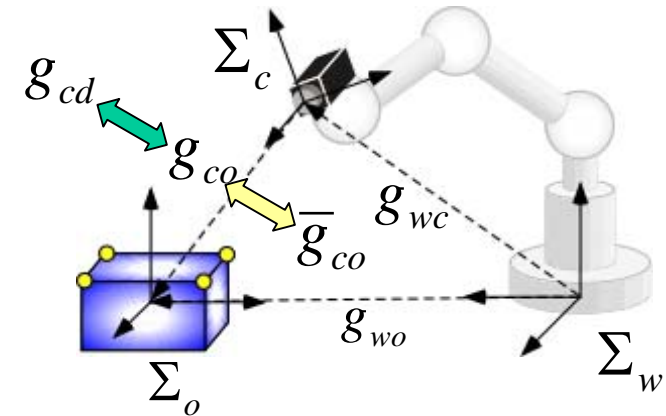
透視投影変換

$$p_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}$$

$g_{co}$  は直接得られない

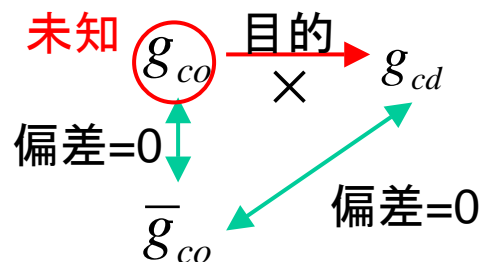
$\downarrow$  オブザーバーによる推定  
 $\frac{\bar{g}_{co}}$

$$f \leftrightarrow g_{co} = (p_{co}, R_{co}) \dots ④$$





# 推定偏差システム



相対運動(①式)  $V_{co}^b = -Ad_{(g_{co}^{-1})} V_{wc}^b + V_{wo}^b$

推定モデル  $\bar{V}_{co}^b = -Ad_{(g_{co}^{-1})} \bar{V}_{wc}^b + \underline{u_e} \dots \dots \dots \textcircled{5}$

$u_e$ : 推定偏差を無くするための制御入力

相対位置姿勢の推定値  $\bar{g}_{co} = (\bar{p}_{co}, \bar{R}_{co})$

推定値を用いた画像特徴量  
(②、③、④式により)

$$\bar{p}_{ci} = \bar{R}_{co} p_{oi} + \bar{p}_{co} \dots \textcircled{6}$$

$$\bar{f}_i := \frac{\lambda}{Z_i} \begin{bmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \end{bmatrix} \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

$$\bar{f} \leftrightarrow \bar{g}_{co} = (\bar{p}_{co}, \bar{R}_{co}) \dots \textcircled{8}$$

## 推定偏差

$$g_{ee} = (p_{ee}, R_{ee})$$

$$g_{ee} := \bar{g}_{co}^{-1} g_{co}$$

$$= \begin{bmatrix} \bar{R}_{co}^T R_{co} & \bar{R}_{co}^T (p_{co} - \bar{p}_{co}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \textcircled{11}$$

推定偏差ベクトル

$$e_e := \begin{bmatrix} p_{ee} \\ e_R(R_{ee}) \end{bmatrix} \dots \dots \dots \textcircled{13}$$

$$e_R(R_{ee}) := \frac{1}{2} (R_{ee} - R_{ee}^T)^\vee$$

推定偏差の運動モデル

$$V_{ee}^b = -Ad_{(g_{ee}^{-1})} u_e + V_{wo}^b \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

## 画像ヤコビアン

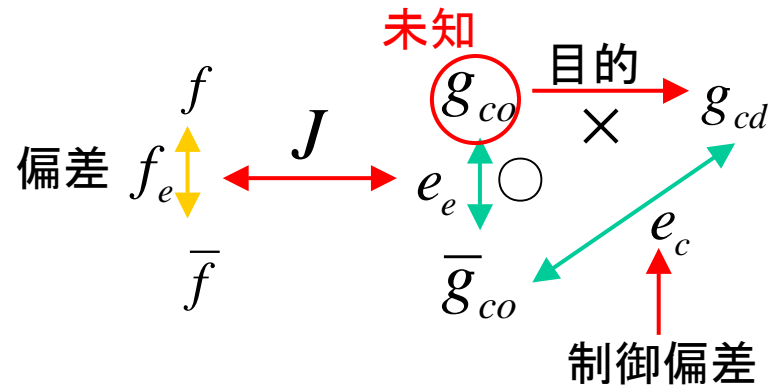
$J$  視覚情報と推定偏差の関係

$$f_e = J e_e, f_e := f - \bar{f} \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

$$e_e = J^\dagger f_e, J^\dagger = (J^T J)^{-1} J^T \dots \textcircled{10}$$



# 制御偏差システム



目標値

目標相対位置姿勢は一定

$$g_{cd} = (p_{cd}, R_{cd})$$

制御偏差  $g_{ec} = (p_{ec}, R_{ec})$

$$g_{ec} := g_{cd}^{-1} \bar{g}_{co} = \begin{bmatrix} R_{cd}^T \bar{R}_{co} & R_{cd}^T (\bar{p}_{co} - p_{cd}) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \dots \textcircled{14}$$

制御偏差ベクトル  $e_c := \begin{bmatrix} p_{ec} \\ e_R(R_{ec}) \end{bmatrix} \dots \dots \textcircled{16}$

制御偏差の運動モデル  $V_{ec}^b = -\text{Ad}_{(\bar{g}^{-1})} V_{wc}^b + u_e \dots \dots \textcircled{15}$



# 視覚フィードバックの構成

## 視覚フィードバックシステムの構成

推定偏差⑫+制御偏差⑮

$$\begin{bmatrix} V_{ec}^b \\ V_{ee}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{Ad}_{(\bar{g}_{ee}^{-1})} & I \\ 0 & -\text{Ad}_{(\bar{g}^{-1})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{wc}^b \\ u_e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} V_{wo}^b \dots\dots\dots \textcircled{17}$$

システムの偏差ベクトル

システムの入力

$$e := \begin{bmatrix} e_{ec} \\ e_{ee} \end{bmatrix} \dots\dots\dots \textcircled{18}$$

$$u_{ce} := \begin{bmatrix} V_{wc}^b \\ u_e \end{bmatrix}$$

## 視覚フィードバックシステムの受動性

観測対象が動いてない(つまり、 $V_{wo}^b = 0$ )とき、入力  $u_{ec} = \begin{bmatrix} V_{wc}^b \\ u_e \end{bmatrix}$  に対して、  
出力が次のように定義すると

$$v_{ce} = \begin{bmatrix} -\text{Ad}_{(g_d^{-1})}^T & 0 \\ -\text{Ad}_{(R_{ec}^{-1})} & -I \end{bmatrix} e \dots\dots\dots \textcircled{19} \quad \text{システムが} \int_0^T u_{ec}^T v_{ce} d\tau \geq -\beta \text{ 成り立つ。}$$

つまり、システムが受動的である





- 前半では、視覚フィードバックの基礎を説明
  - 位置姿勢、および速度表現
  - カメラ画像から対象の三次元情報の推定
  - 推定偏差、制御偏差の表現
  - そして、推定偏差制御偏差を利用して、視覚フィードバックシステムの構成方法
- これから後半の部分では、複数台のEye-in-handカメラシステムを利用したMulti Camera Visual Feedback Systemの提案についての説明

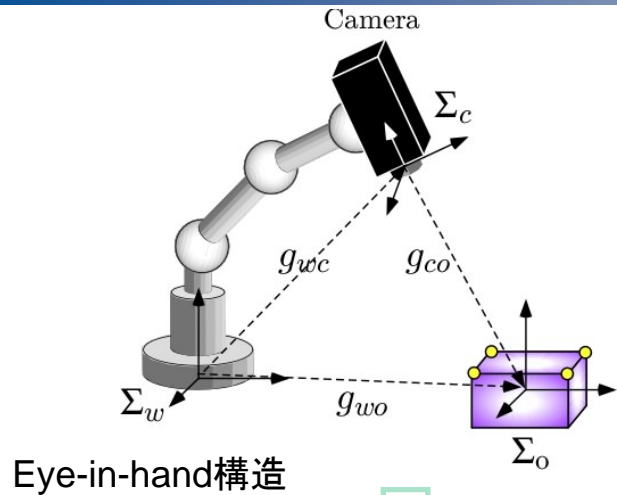


## 後半－複数カメラによるSynchronizationの問題

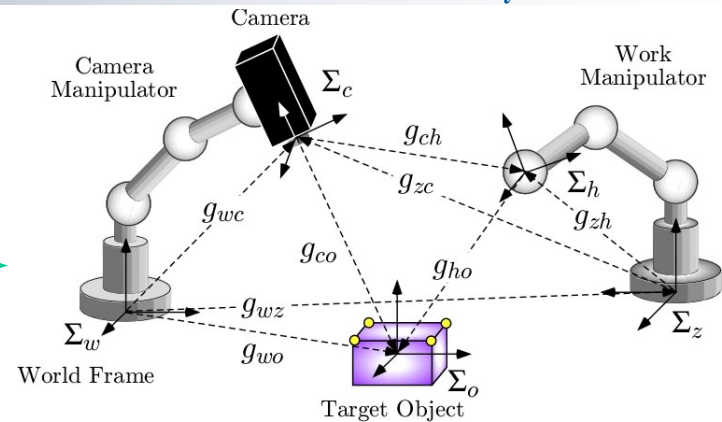
- 問題設定
- 2. 目標相対位置姿勢についての考え
- 3. 推定偏差システム
- 4. 制御偏差システム
- 5. 受動性
- 6. 終わりに



# 問題設定(1)

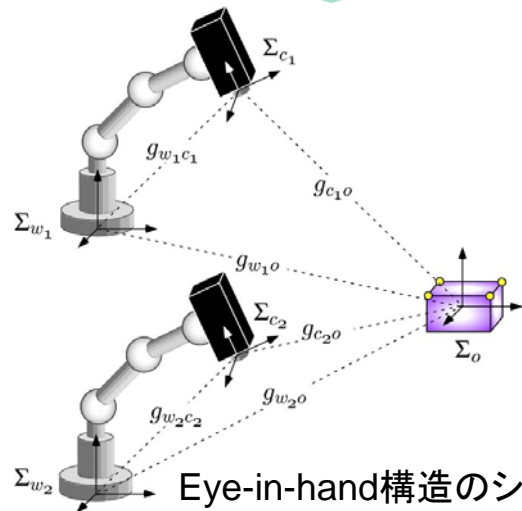


発展



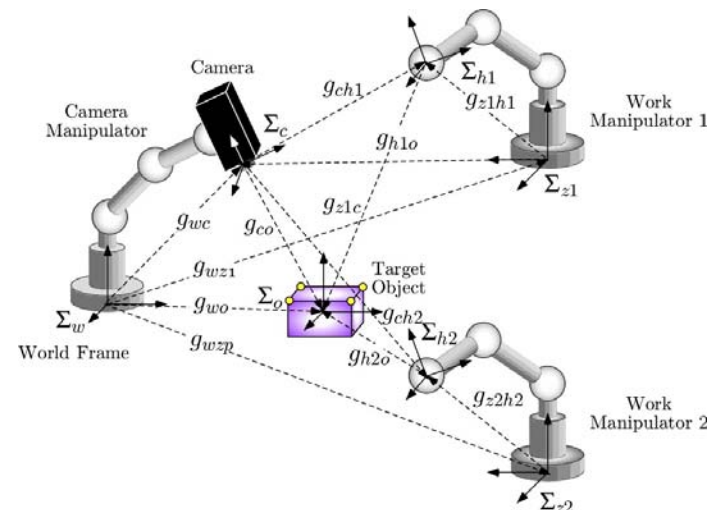
Synchronization

Synchronization



今回の提案: Multi camera visual feedback system

視野を広げて拡張



村尾: Towards Mutual Synchronization of Visual Feedback System



## 問題設定(2)

Tokyo Institute of Technology

### 目標

カメラ複数台にすることによって、視野を広げる

### 仮定

観測物が両方のカメラの視野ないに入っている

### 制御目的:

- 個々のカメラを未知動きの目標物を追従する

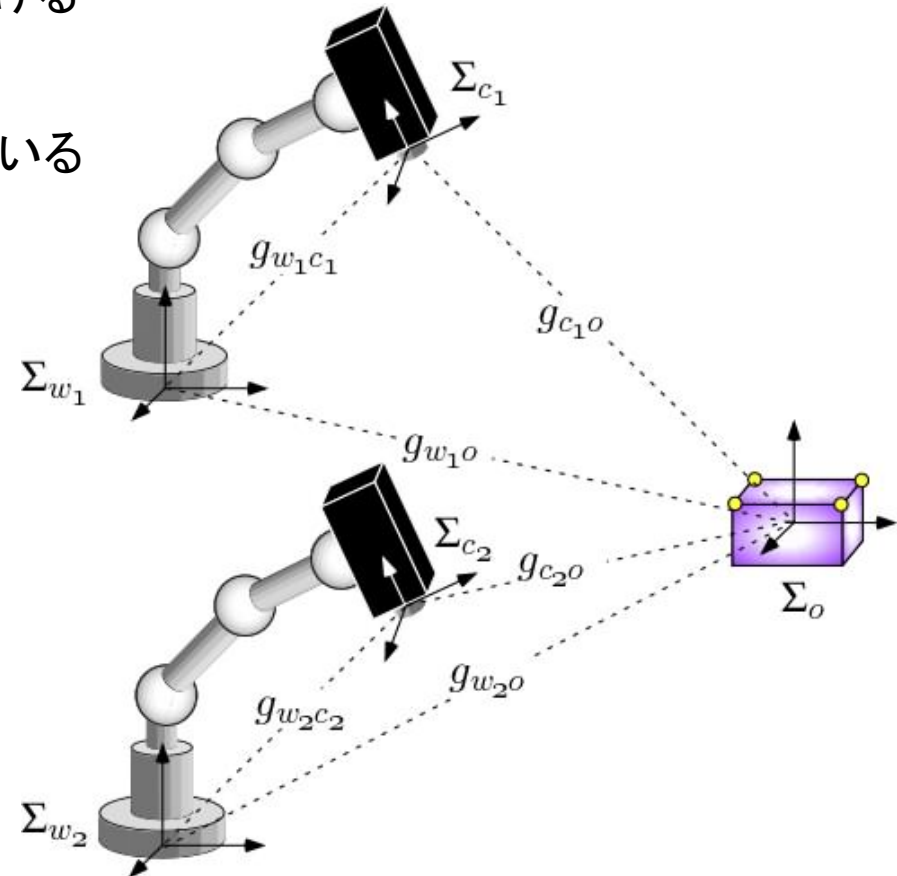
カメラから見た対象物の相対位置姿勢と  
目標相対位置姿勢と常に一致

$$g_{c1o} \rightarrow g_{c1d}, \quad g_{c2o} \rightarrow g_{c2d}$$

- 二つカメラの相対位置姿勢を同期して動く

マニピュレータの手先出力同期

$$g_{c1o} \Leftrightarrow g_{c2o}$$



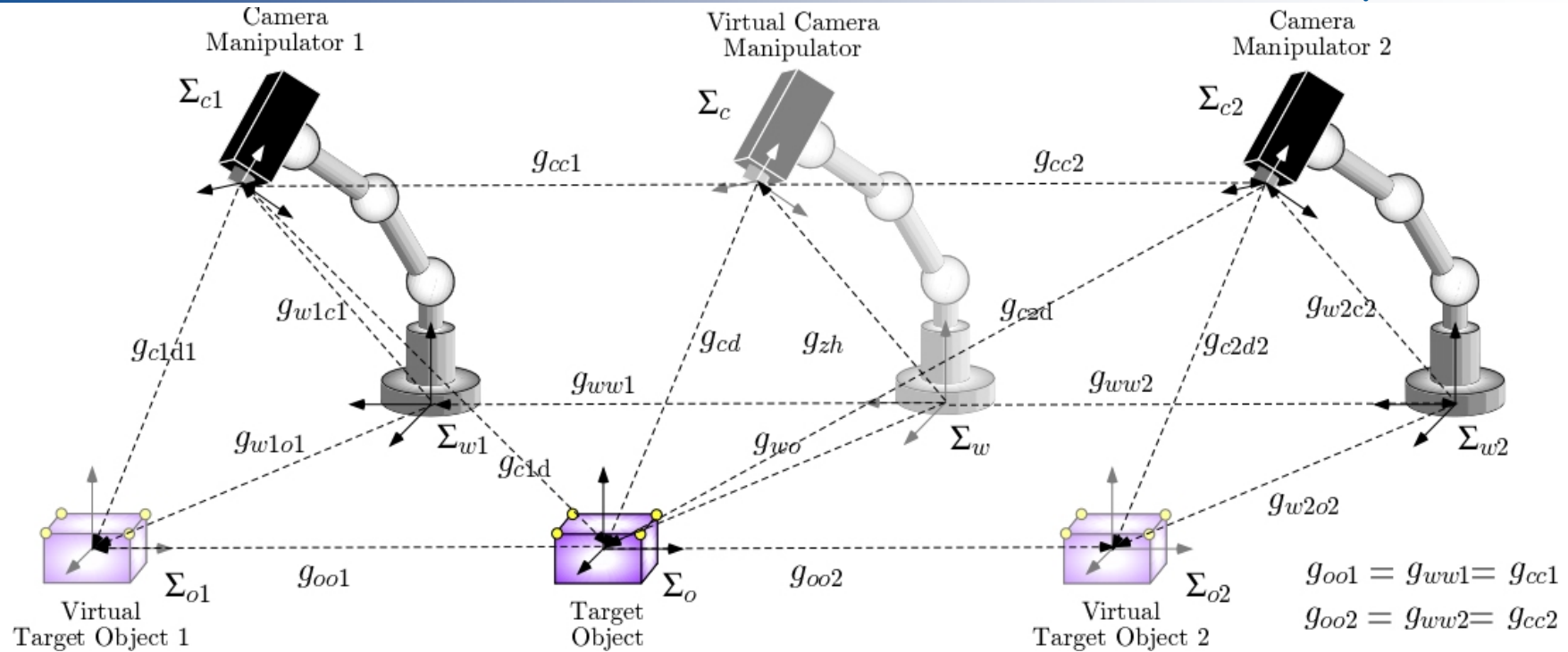


## 後半の流れ

- ✓ 問題設定
- 目標相対位置姿勢についての考え
- 3. 推定偏差システム
- 4. 制御偏差システム
- 5. 受動性
- 6. 終わりに



# 相対位置姿勢についての考え



## カメラ間Synchronizationの取り方

- 各関節角度、速度をシンクロさせる
- 台座座標とカメラ座標の相対位置姿勢をシンクロ
- 観測対象との相対位置姿勢  $g_{c1o}$  と  $g_{c2o}$  をシンクロ

## 仮想観測物と仮想カメラの考え

- $g_{c1o}$  と  $g_{c2o}$  直接シンクロできない
- 仮想観測物、仮想カメラを作る

$$\begin{cases} g_{c1o} = g_{c1o} g_{w1o} \\ g_{c2o} = g_{c2o} g_{w2o} \end{cases}, i = 1, 2$$

$$g_{c1o} \rightarrow g_{c1d} \Rightarrow g_{c1o} \rightarrow g_{c1d}$$



# 相対位置姿勢

## 目標相対位置姿勢

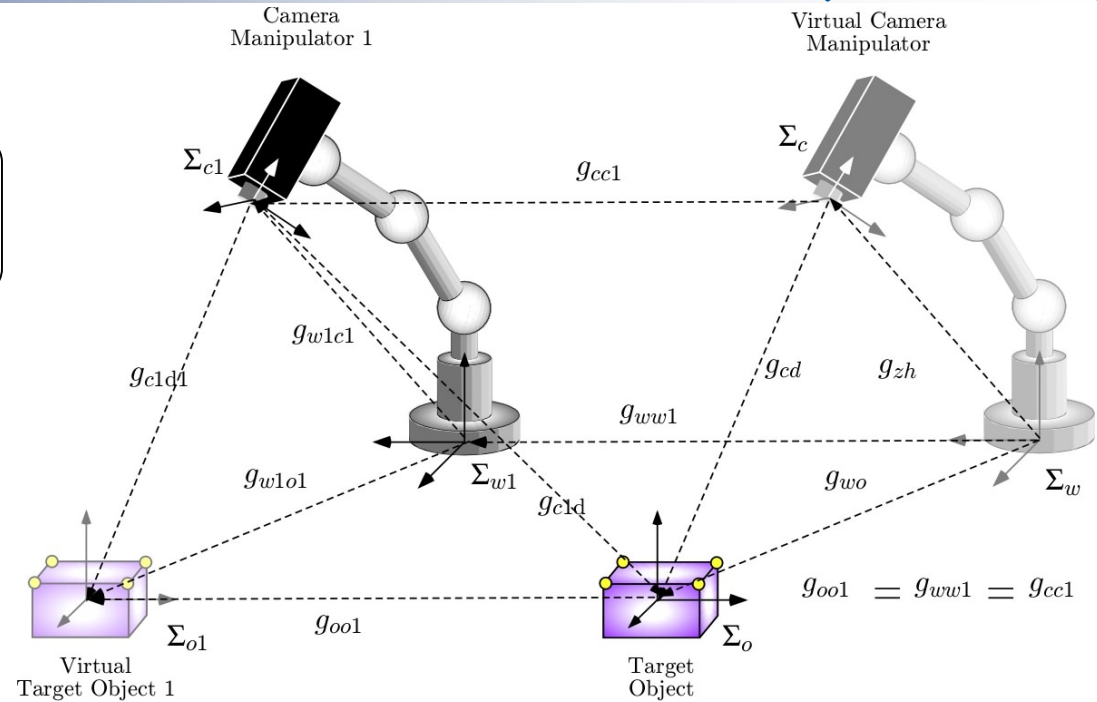
カメラと対象物の相対位置姿勢

$$g_{c1d}, g_{c2d}$$

手先がシンクロしながら動く

$g_{c1d}, g_{c2d}$  が独立でない

目標は?  $g_{c1d}$ ?  $g_{c2d}$  ?



$$\left. \begin{aligned} g_{c1d1} &= g_{c1d} g_{ww1} \\ g_{c1d} &= g_{ww1}^{-1} g_{cd} \end{aligned} \right\} \Rightarrow g_{c1d1} = g_{ww1}^{-1} g_{cd} g_{ww1} \dots \dots \textcircled{20}$$

$g_{ww1}, g_{ww2}$  をうまく選択すれば  $g_{cd} \Rightarrow g_{c1d1}, g_{c2d2}$



## 後半の流れ

- ✓ 問題設定
- ✓ 目標相対位置姿勢についての考え
- 推定偏差システム
- 4. 制御偏差システム
- 5. 受動性
- 6. 終わりに





# 推定偏差システム

## 相対速度の推定値

推定値間シンクロを取らないとする

一台のカメラと仮想対象の相対速度の推定値

$$\hat{V}_{c_{io}i}^b = \bar{g}_{c_{io}i}^{-1} \dot{\bar{g}}_{c_{io}i}^b \longrightarrow \bar{V}_{c_{io}i}^b = Ad_{(g_{w_{wi}}^{-1})} \bar{V}_{c_{io}i}^b$$

$$\bar{V}_{c_{io}i}^b = -Ad_{(g_{c_{io}i}^{-1})} V_{w_{wi}i}^b + u_{ei}$$

$$\bar{V}_{c_{io}i}^b = -Ad_{(g_{c_{io}i}^{-1})} V_{w_{wi}i}^b + Ad_{(g_{w_{wi}}^{-1})} u_{ei} \dots \dots (21)$$

一台のカメラの推定偏差ベクトル

$$e_{eei} = \begin{bmatrix} p_{eei} \\ e_R(R_{eei}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{R}_{c_{io}i}^T (p_{c_{io}i} - \bar{p}_{c_{io}i}) \\ e_R(\bar{R}_{c_{io}i}^T R_{c_{io}i}) \end{bmatrix} \dots \dots (22)$$

## 推定偏差の運動モデル

$$\begin{bmatrix} R_{eei}^T \dot{p}_{eei} \\ R_{eei}^T \dot{R}_{eei} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{eei}^T & -R_{eei}^T \hat{p}_{eei} \\ 0 & R_{eei}^T \end{bmatrix} u_{ei}^b + V_{w_{io}i}^b$$

$$V_{eei}^b = -Ad_{(g_{eei}^{-1})} u_{ei}^b + V_{w_{io}i}^b \dots \dots (23)$$

## Eye-in-handカメラ一台の時

相対速度の推定値

$$\bar{V}_{c_{o}i}^b = -Ad_{(g_{c_{o}i}^{-1})} \bar{V}_{w_{c}i}^b + u_e \dots \dots (5)$$

推定偏差ベクトル

$$e_e := \begin{bmatrix} p_{ee} \\ e_R(R_{ee}) \end{bmatrix} \dots \dots (13)$$

推定偏差の運動モデル

$$V_{ee}^b = -Ad_{(g_{ee}^{-1})} u_e + V_{w_{o}i}^b \dots \dots (12)$$



## 後半の流れ

- ✓ 問題設定
- ✓ 目標相対位置姿勢についての考え
- ✓ 推定偏差システム
- 制御偏差システム
- 5. 受動性
- 6. 終わりに



# 制御偏差システム(1)

## 単体カメラの制御偏差

相対位置の目標値  $g_{cd}$

$$\begin{aligned} g_{c1d1} &= (p_{c1d1}, R_{c1d1}) \\ g_{c2d2} &= (p_{c2d2}, R_{c2d2}) \end{aligned}$$

単体カメラの制御偏差  $g_{eci} = (p_{eci}, R_{eci})$

制御偏差ベクトル  $e_{eci} := \begin{bmatrix} p_{eci} \\ e_R(R_{eci}) \end{bmatrix} \dots\dots(24)$

## Eye-in-handカメラ一台の時

制御偏差

$$g_{ec} = (p_{ec}, R_{ec})$$

制御偏差ベクトル

$$e_c := \begin{bmatrix} p_{ec} \\ e_R(R_{ec}) \end{bmatrix} \dots\dots(16)$$

## カメラ間Synchronization偏差

別々のカメラと仮想対象物との相対位置姿勢の差

$$\bar{g}_{c1oi} \longleftrightarrow \bar{g}_{c2oj}$$

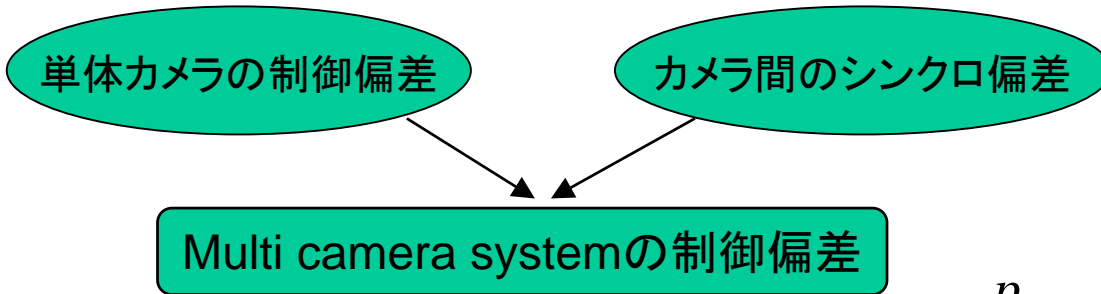
カメラ間のシンクロ偏差  $g_{ecij} = (p_{ecij}, R_{ecij}) \dots\dots(25)$

$$\begin{cases} R_{ecij} = R_{c2oj}^T \bar{R}_{c1oi} \\ p_{ecij} = R_{c2oj}^T (\bar{p}_{c1oi} - \bar{p}_{c2oj}) \end{cases} \dots\dots(26)$$

シンクロ偏差ベクトル  $e_{ecij} := \begin{bmatrix} p_{ecij} \\ e_R(R_{ecij}) \end{bmatrix} \dots\dots(27)$



# 制御偏差システム(2)



システムの制御偏差

$$g_{eciex} := (p_{eciex}, R_{eciex}) \dots \dots (26)$$

$$p_{eciex} := \begin{bmatrix} p_{eci} \\ \underline{k_{ijp} p_{ecij}} \end{bmatrix} \quad R_{eciex} := \begin{bmatrix} R_{eci} & 0 \\ 0 & \underline{k_{ijR} R_{ecij}} \end{bmatrix}$$

Synchronization Gain

## 拡張した制御偏差の運動モデル

$$V_{eciex}^b = \begin{bmatrix} R_{eciex}^T \dot{p}_{eciex} \\ R_{eciex}^T \dot{R}_{eciex} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{ijp} k_{ijR} I_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{ijR}^2 I_3 \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} -R_{eci}^T R_{eci}^T \hat{p}_{eci} \\ 0 & 0 \\ 0 & -R_{eci}^T \\ 0 & 0 \end{bmatrix} V_{cidi}^b + \begin{bmatrix} I_3 & 0 \\ I_3 & 0 \\ 0 & I_3 \\ 0 & I_3 \end{bmatrix} \bar{V}_{cnoi}^b + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -R_{ecij}^T R_{eci}^T \hat{p}_{ecij} \\ 0 & 0 \\ 0 & -R_{ecij}^T \end{bmatrix} \bar{V}_{cnoj}^b \right)$$

.....(28)

$V_{cidi}^b = 0$  相対目標位置姿勢一定

Adjoint表現で表す

$$V_{eciex}^b = K_{12} \left( -Adve_{\left(\bar{g}_{cnoi}^{-1}, \bar{g}_{cnoi}^{-1}\right)} V_{wici}^b + Adve_{\left(g_{wwi}^{-1}, g_{wwi}^{-1}\right)} u_{ei} + Adve_{\left(0, g_{ecij}^{-1}\right)} Ad_{\bar{g}_{cnoj}^{-1}} V_{wjcj}^b - Adve_{\left(0, g_{ecij}^{-1}\right)} Ad_{\left(g_{wwj}^{-1}\right)} u_{ej} \right) \dots (29)$$



# 制御偏差システム(3)

## 制御偏差のまとめ

システムの制御偏差

$$g_{eciex} := (p_{eciex}, R_{eciex})$$

制御偏差ベクトル

$$e_{ec} = \begin{bmatrix} e_{ec1ex} \\ e_{ec2ex} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{ec1ex} \\ e_R(R_{ec1ex}) \\ p_{ec2ex} \\ e_R(R_{ec2ex}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{ec1} \\ p_{ec12} \\ e_R(R_{ec1}) \\ e_R(R_{ec12}) \\ p_{ec2} \\ p_{ec21} \\ e_R(R_{ec2}) \\ e_R(R_{ec21}) \end{bmatrix} \dots (30)$$

## 制御偏差の運動モデル

$$V_{eciex}^b = K_{12} \left( -Ad_{e_{(\bar{g}_{ciot}^{-1} \cdot \bar{g}_{ciot}^{-1})}} V_{wici}^b + Ad_{e_{(\bar{g}_{wwi}^{-1} \cdot \bar{g}_{wwi}^{-1})}} u_{ei} + Ad_{e_{(0 \cdot \bar{g}_{ecij}^{-1})}} Ad_{\bar{g}_{ecij}^{-1}} V_{wjcj}^b - Ad_{e_{(0 \cdot \bar{g}_{ecij}^{-1})}} Ad_{(\bar{g}_{wvj}^{-1})} u_{ej} \right) \dots (29)$$

## Eye-in-handカメラ一台の制御偏差

制御偏差

$$g_{ec} = (p_{ec}, R_{ec})$$

制御偏差ベクトル

$$e_c := \begin{bmatrix} p_{ec} \\ e_R(R_{ec}) \end{bmatrix} \dots \dots \dots (16)$$

## 制御偏差の運動モデル

$$V_{ec}^b = -Ad_{(\bar{g}^{-1})} V_{wc}^b + u_e \dots (15)$$



## 後半の流れ

- ✓ 問題設定
- ✓ 目標相対位置姿勢についての考え
- ✓ 推定偏差システム
- ✓ 制御偏差システム
- 受動安定性
- 6. 終わりに



# システム全体の偏差システム



システム全体の偏差系

$$\begin{bmatrix} V_{ee1} \\ V_{ee2} \\ V_{ec1ex} \\ V_{ec2ex} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{21} \end{bmatrix} Ad \begin{bmatrix} V_{w1c1}^b \\ V_{w2c2}^b \\ u_{e1} \\ u_{e2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & I \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{w1o}^b \\ V_{w2o}^b \end{bmatrix} \dots (31)$$

Eye-in-handシステムの偏差系

$$\begin{bmatrix} V_{ec}^b \\ V_{ee}^b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Ad_{(\bar{g}_{ee}^{-1})} & I \\ 0 & -Ad_{(\bar{g}^{-1})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{wc}^b \\ u_e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} V_{wo}^b \dots (17)$$

$$Ad = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -Ad_{(\bar{g}_{ee}^{-1})} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Adve_{(\bar{g}_{c1o1}^{-1} \cdot \bar{g}_{c1o1}^{-1})} & Adve_{(0 \cdot \bar{g}_{ec12}^{-1})} Ad_{(\bar{g}_{c2o2}^{-1})} & Adve_{(\bar{g}_{ww1}^{-1} \cdot \bar{g}_{ww1}^{-1})} & 0 \\ Adve_{(0 \cdot \bar{g}_{ec21}^{-1})} Ad_{(\bar{g}_{c1o1}^{-1})} & -Adve_{(\bar{g}_{c2o2}^{-1} \cdot \bar{g}_{c2o2}^{-1})} & -Adve_{(0 \cdot \bar{g}_{ec21}^{-1})} Ad_{(\bar{g}_{ww1}^{-1})} & Adve_{(\bar{g}_{ww2}^{-1} \cdot \bar{g}_{ww2}^{-1})} \end{bmatrix}$$

偏差ベクトル  $e_{ec} = \begin{bmatrix} e_{ec1ex} \\ e_{ec2ex} \\ e_{ee1} \\ e_{ee2} \end{bmatrix} \dots (32)$

システムの偏差ベクトル

$$e := \begin{bmatrix} e_{ec} \\ e_{ee} \end{bmatrix} \dots (18)$$



# システムの受動性

$$\text{システム入力 } u := \begin{bmatrix} V_{w1c1}^b \\ V_{w2c2}^b \\ u_{e1} \\ u_{e2} \end{bmatrix} \quad \text{偏差ベクトル } e := \begin{bmatrix} e_{ee1} \\ e_{ee2} \\ e_{ec1ex} \\ e_{ec2ex} \end{bmatrix}$$

## 補題

観測対象が動いてない(つまり、 $\begin{bmatrix} V_{w1o}^b \\ V_{w2o}^b \end{bmatrix} = 0$ )とき、出力が次のように定義するとき

$$v = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -Ad_{\begin{pmatrix} \bar{g}_{c1d1}^{-1} \bar{g}_{c1o1}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T & -Ad_{\begin{pmatrix} 0 \bar{g}_{c2o2}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T \\ 0 & 0 & -Ad_{\begin{pmatrix} 0 \bar{g}_{c1o1}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T & -Ad_{\begin{pmatrix} \bar{g}_{c2d2}^{-1} \bar{g}_{c2o2}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T \\ -I & 0 & Ad_{\begin{pmatrix} R_{ec1ex}^* \end{pmatrix}} Ad_{\begin{pmatrix} g_{ww1}^{-1} g_{ww1}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T & -Ad_{\begin{pmatrix} 0 \bar{g}_{ec12}^{-1} \end{pmatrix}} Ad_{\begin{pmatrix} g_{ww2}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T \\ 0 & -I & Ad_{\begin{pmatrix} 0 \bar{g}_{ww1}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T & Ad_{\begin{pmatrix} R_{ec2ex}^* \end{pmatrix}} Ad_{\begin{pmatrix} g_{ww2}^{-1} g_{ww2}^{-1} \end{pmatrix}} ve^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{12R} K_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{21R} K_{21} \end{bmatrix} e$$

視覚フィードバックシステムの入出力間  $\int_0^T u^T v d\tau \geq -\beta$  を満たす。ただし、

$\beta$  は非負の定数。つまり、システムが受動性を満たす

**エネルギー関数**  $V = E(g_{ee1}) + E(g_{ee2}) + E(g_{ec1ex}) + E(g_{ec2ex}), E(g) = \frac{1}{2} \|p\|^2 + \phi(R)$





# システム全体の概念図

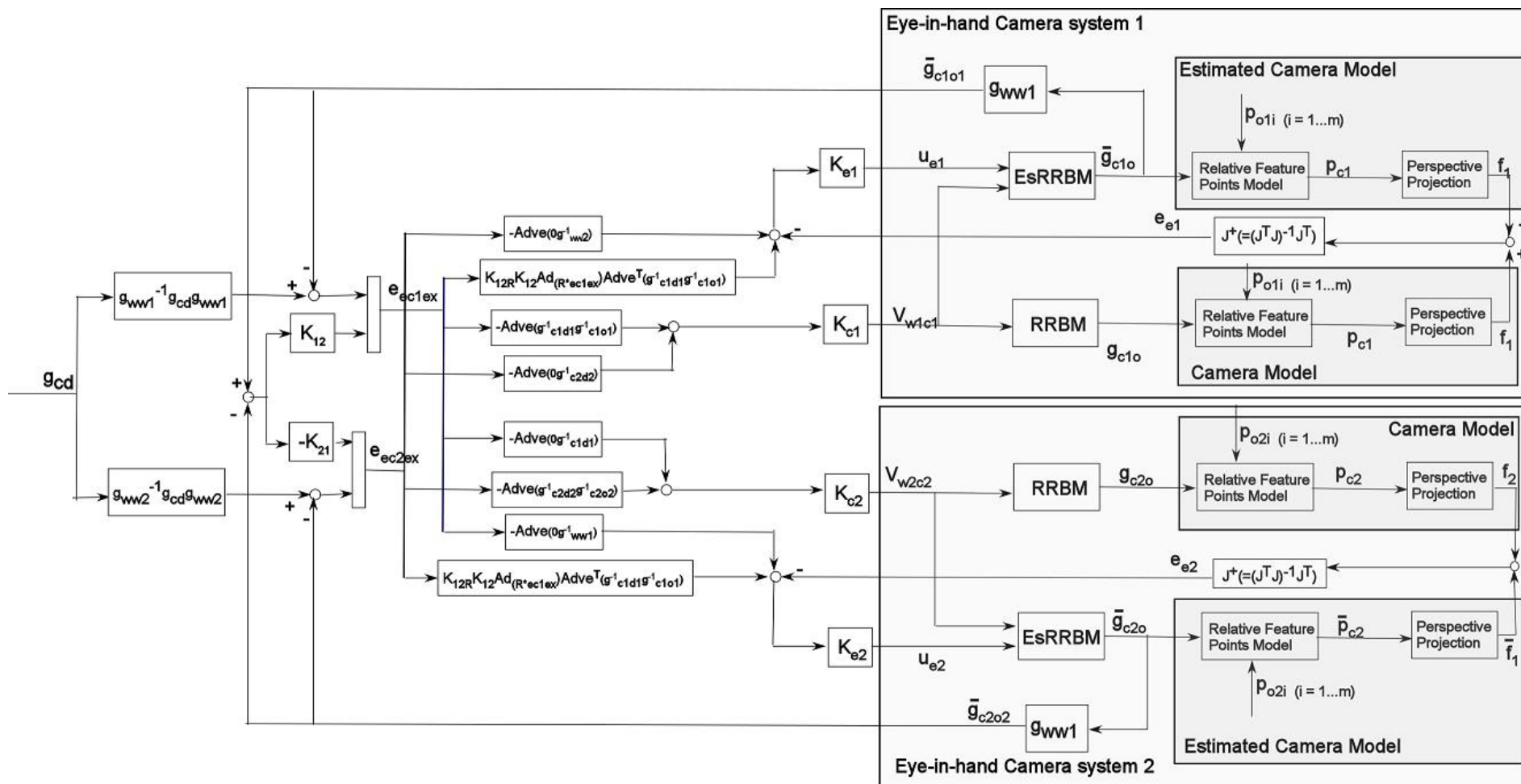


図 : Block diagram of Multiple Camera Visual Feedback System



## 終わりに

- 今日の説明
  - 前半では、後半で使う視覚フィードバックの基礎表現などについての説明
  - 後半では、複数台(2台)のカメラを用いたシステムについての説明
- 問題点
  - 視覚系のみでシステムを構成し、マニピュレータダイナミクスを考慮していない
  - 目的である視野の拡張が達成できず
- 今後の予定
  - 視覚情報を取りあえず置いておいて、マニピュレータのSynchronizationからシステムを構築
  - カメラ一台のみ対象物を見えるときの問題設定